

⑫ 公開特許公報(A)

昭63-232386

⑬ Int. Cl.⁴

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 昭和63年(1988)9月28日

H 01 S 3/18
G 01 J 3/26
H 01 S 3/1377377-5F
8707-2G
7630-5F

審査請求 未請求 発明の数 1 (全14頁)

⑮ 発明の名称 ファブリ・ペロー干渉計

⑯ 特 願 昭62-7927

⑰ 出 願 昭62(1987)1月16日

優先権主張 ⑱ 昭61(1986)10月6日 ⑲ 日本(JP) ⑳ 特願 昭61-237555

㉑ 発 明 者 石 垣 真 一 東京都杉並区久我山1丁目7番41号 岩崎通信機株式会社
内㉒ 発 明 者 峯 岸 篤 東京都杉並区久我山1丁目7番41号 岩崎通信機株式会社
内

㉓ 出 願 人 岩崎通信機株式会社 東京都杉並区久我山1丁目7番41号

㉔ 代 理 人 弁理士 内田 公三

明 細 書

1. 発明の名称

ファブリ・ペロー干渉計

2. 特許請求の範囲

(1) 第1のミラーと、

前記第1のミラーと所定の距離離れて平行に対向する第2のミラーと、

前記第1のミラーと前記第2のミラーのミラー間距離を決定する、線膨張係数の異なるすくなくとも2種類の部材とを具備し、

前記第1および第2のミラー間の光学的距離が温度変化に対して実質的に変化しないものであることを特徴とするファブリ・ペロー干渉計。

(2) 前記第1および第2のミラー間を真空状態にした特許請求の範囲第1項記載のファブリ・ペロー干渉計。

(3) 前記第1および第2のミラー間に圧力を一定にした流体を満したものである特許請求の範囲

第1項記載のファブリ・ペロー干渉計。

(4) 前記第1および第2のミラー間に流体を封入するようにしたものである特許請求の範囲第1項記載のファブリ・ペロー干渉計。

(5) 前記線膨張係数の異なるすくなくとも2種類の部材が、正および負の線膨張係数を有するものである特許請求の範囲第1項記載のファブリ・ペロー干渉計。

(6) 前記すくなくとも2種類の部材が、前記第1のミラーを支持する第1の部材と前記第2のミラーを支持する第2の部材でなる特許請求の範囲第1項記載のファブリ・ペロー干渉計。

(7) 前記第1の部材が、シリンダー状をなし、その底部に前記第1のミラーを形成し、他方に開口部を有するものであり、

前記第2の部材が、前記第1の部材の前記開口部を塞いで前記第2のミラーを形成した部分が前記開口部から前記第1の部材のシリンダー状の部分に入り込むように構成されたものである特許請求の範囲第6項記載のファブリ・ペロー干渉計。

(8) 前記第1および第2の部材の断面がともにコ字状をなすものであり、前記第1および第2の部材の接続後の断面が口の字状をなすものである特許請求の範囲第6項記載のファブリ・ペロー干渉計。

3. 発明の詳細な説明

[産業上の利用分野]

本発明は温度依存性の極めて少ない光共振器の一種であるファブリ・ペロー干渉計に関する。

[従来技術]

ファブリ・ペロー干渉計は超高分解能分光への応用をはじめ、レーザ・キャビティ内に挿入しレーザ・スペクトル線幅を細くしたり、スペクトル線の選択・分離や天文学への応用、また最近では周波数安定化レーザ装置等に応用されつつある。

ファブリ・ペロー干渉計は第5図に示すように、平面または曲率をもった、互いに平行な2面の、一部透過形ミラーで構成される。(a)は平行平面型であり、(b)はエアー・ギャップ型と呼ば

れるものであり(c)は共・焦点型であり、(d)はソリッド型といわれるものである。これらの図において、3および4はともにミラーである。

(d)に示した一枚の板状のものや、(a)および(b)に示した型のものでミラー間隔が固定のものは特にエタロンと呼ばれる。

ファブリ・ペロー干渉計は超高分解能の分光能力を持ち、効率がよいという特徴を有している。

レーザの周波数を安定化するための一方法として、半導体レーザの周波数の変動を周波数弁別器を用いて光強度変動に変換し、光-電気変換した後基準電圧との比較をし、その誤差を誤差信号として、半導体レーザの温度あるいは駆動電流を制御することによってフィードバックをかけて周波数を安定化する方法がとられている。

このような周波数弁別器としてファブリ・ペロー干渉計の透過スペクトルが用いられる。ところがファブリ・ペロー干渉計のミラー間の長さ、およびミラー間の媒質の屈折率が温度変化により変化するために、透過スペクトルも変化してしまい、

長期にわたって周波数の安定化を得ることは困難であり、透過スペクトルに熱的ドリフトが生じてしまうという問題があった。そこでこれを安定化するためファブリ・ペロー干渉計として、熱膨張係数の小さな材料を用いたものを使用し、さらにファブリ・ペロー干渉計の温度を安定化して使用している。

それにもかかわらず、完全に熱的ドリフトを除去できず、しかも半導体レーザに比べて大きな形状のファブリ・ペロー干渉計を厳密に温度制御することは非常にむづかしいといった欠点があった。

上記欠点を解決するため特開昭60-52073「波長安定化半導体レーザ」には、つぎの方法が提案されている。すなわち「半導体レーザの活性媒質の屈折率の温度係数と逆符号の温度係数の屈折率を有する媒質を、半導体レーザと結合し、両端に鏡を設け、光共振器を形成し、該媒質の長さを温度変化による該共振器の共振波長変化が小さくなるようにした」ものである。

[発明が解決しようとする問題点]

前記特開昭60-52073に開示された「波長安定化半導体レーザ」によっても、なおつぎのような問題点が存在する。

第1の問題点は、屈折率の異なる媒質を接続して使用するので、各媒質の端面を無反射コーティングして接続しなければならず、そのようにしても完全に無反射とはならず、光がこれらの端面間を多重反射するため接続面の反射の影響が誤差となって現われる。

第2の問題点は、媒質の線膨張係数は正のものが多く、したがって屈折率の波長係数が負の媒質が必要となるが、このような媒質はTa(Br, Cl)(KR₅₋₅), NaCl, BaF₂、水晶のみが開示されており、その中には吸湿性、潮解性を有するものもあり、実用化に当っては媒質の選択は、さらにその一部のものに限定される。

第3の問題点は、屈折率の温度変化と熱膨張によるミラー間距離の温度変化を個別に制御することができないことである。

第4の問題点は屈折率の温度係数と線膨張係数

がともに同符号の媒質は使用できないので媒質の選択幅が非常に狭いことである。

〔問題点を解決するための手段〕

本発明のファブリ・ペロー干渉計は、互いに平行な2枚のミラー（鏡）と、前記2枚のミラー間距離を決定する為の部材から成り、この2枚のミラー間距離を決定する部材が線膨張係数の異なる少なくとも2種類の材質を組み合わせ、2枚のミラー間の媒質の屈折率と距離の積で表わされる光学的距離が周囲の温度変化にかかわらず実質的に一定であるように構成されている。

〔作用〕

前記ミラー間の媒質の屈折率の温度変化にともない生じる前記光学的距離（屈折率×距離）の変化を打ち消すように、この2枚のミラー間距離が温度変化し、結果として前記ミラー間の光学的距離が変化しないように作用する。

〔実施例〕

本発明によるファブリ・ペロー干渉計の実施例を第1図ないし第4図に示し説明する。

は、接脱面5からミラー4までの距離 ℓ_2 とは等しくないが、線膨張係数の異なることを利用して両者の温度変化量が等しくなるようにして、ミラー間距離 $\ell_1 - \ell_2$ を一定にすることができる（具体例1）。

他の例として、第2図に示す2枚のミラー3と4との間の媒質の屈折率の温度変化により生じる光学的距離の温度変化を打ち消す作用をするように線膨張係数の異なる材質を組み合わせ構成し、全体として光学的距離が一定となるようにすることができる（具体例2および3）。したがって、使用する材質として従来のように線膨張係数の範囲を非常に小さいものに限定することなく、広範囲の材質から選択使用できるという特徴を有している。

このような材質としては、一般に各種のガラスをはじめ、金属、合金（特にインバー、スーパー・インバー等は好ましい材料である）合成樹脂その他多くのものが使用可能である。ただし、使用する光に対して不透明な材質を用いる場合は、ミ

2枚のミラー間距離を決定するための部材が線膨張係数の異なる少なくとも2種類の材質を組合わせて成っており、かつ前記2枚のミラー間の媒質とは異なる材質により構成されているので、前記媒質の屈折率を決めるための媒質の選択と前記2枚のミラー間距離を決定する為の部材とは別々に選択することができる。線膨張係数の異なる2種類以上の材質を組み合わせることにより、個々の線膨張係数が全て同符号であっても、前記ミラー間距離の温度変化量を正にも負にも、あるいは零にもすることができ、またその温度変化の割合も自由に決めることができる。線膨張係数の異なる2種類の材質を組合わせて作った場合は、3種類以上の材質を組合せて作るのに比べると、簡単にかつ精度よく作ることができるので、特殊な場合を除いて2種類の材質を組合わせて作ることが好ましい。

たとえば、第1図において、ミラー保持部材1および2の接脱面5からミラー3までの距離 ℓ_1

ラー保持部材の光の通路に当る部分は、透明な材質を用いる必要がある。合成樹脂を用いる場合は、精密金型で成型加工することにより、安価に、かつ大量生産することが可能となる。2枚のミラー間に挿入する光の媒質としては、ミラー間距離の変化に追従して変化し、常にミラー間に均一に存在するような媒質であることが必要であるから、一般に使用する光に対して透明な気体や液体などの流体、または真空であることが望ましい。このような気体や液体などの流体は、単一成分の気体や単一成分の液体でもよく、また混合気体や混合液体であってもよい。ミラー3および4の面の反対面（外側の面）には無反射コーティングが施され、またこの外側の面とミラー面との間でファブリ・ペロー・キャビティを構成しないように、第1図および第2図に示すごとく、ある程度の傾き（ウェッジ）を設けることが望ましい。本発明のファブリ・ペロー干渉計の掃引はファブリ・ペロー干渉計を光軸から傾けることにより行なうことができる。

具体例 1

第 1 図は第 1 の具体例を示す図である。1 は線膨張係数 α_1 の透明なミラー保持部材、2 は線膨張係数 α_2 の透明なミラー保持部材、3 はミラー保持部材 1 に設けた、4 はミラー保持部材 2 に設けた、それぞれ半径が r_1 および r_2 のミラーで、ミラー 3 と 4 は共に光を一部透過する性質を有し、互いに平行に位置している。ミラー保持部材 1 および 2 の接続面 5 はミラー 3 および 4 と平行に設けられており、接続面 5 からミラー 3 までの距離を l_1 、接続面 5 からミラー 4 までの距離を l_2 とする。ミラー保持部材 1 および 2 を接続面 5 で接続することにより 2 枚のミラー間距離を決定するように構成している。

本具体例では、2 つのミラー 2 および 3 で構成するファブリ・ペロー干渉計のキャビティを真空にして屈折率 $n=1$ とし、媒質が温度変化を受けないようにするため、ファブリ・ペロー干渉計を真空容器内に入れるか、または接続面 5 を気密にし、内部を真空にする。このような構成にしたフ

けるミラー保持部材 1 およびミラー保持部材 2 における長さ l_1 および l_2 が一定の温度上昇（下降）することにもなう伸び（縮み）量の差が零、すなわちミラー保持部材 1 および 2 の熱膨張にともなう変化量が等しいことを意味している。（4）式を変形すると

$$l_{10}/l_{20} = \alpha_2 / \alpha_1 \quad (4-1)$$

となる。この関係を満たすように材質を選び、長さ l_{10} 、 l_{20} を決めるならば温度変動に影響されないファブリ・ペロー干渉計を実現することができる。このような原理にもとづいて実際にファブリ・ペロー干渉計を作製する。

ミラー保持部材 1 に、線膨張係数 $\alpha_1 = 5.5 \times 10^{-7}/^\circ\text{C}$ の石英ガラスを、ミラー保持部材 2 に $\alpha_2 = 3.2 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ のバイレックス・ガラスを使用し、ミラー間距離 $l_0 = l_{10} - l_{20} = 1.0000 \text{ cm}$ 程度のファブリ・ペロー干渉計を設計する。（4-1）式および $l_0 = l_{10} - l_{20} = 1.0000$ より、

ファブリ・ペロー干渉計において、ミラー間距離 $l = l_1 - l_2$ は、ある基準状態（たとえば、工業標準状態）においては、 $l = l_0$ 、 $l_1 = l_{10}$ 、 $l_2 = l_{20}$ であるとする、他の温度では

$$\begin{aligned} l &= l_1 - l_2 \\ &= l_{10} (1 + \alpha_1 \Delta T) \\ &\quad - l_{20} (1 + \alpha_2 \Delta T) \\ &= (l_{10} - l_{20}) \\ &\quad + (\alpha_1 l_{10} - \alpha_2 l_{20}) \Delta T \end{aligned} \quad (3)$$

となる。ここで ΔT は、温度 T と基準状態での温度 T_0 (20°C) との差であるから、 $\Delta T = T - T_0$ であらわされる。

（3）式における第 1 項は $\Delta T = 0$ でのミラー間距離であるから一定であり、第 2 項が温度変化 ΔT によるミラー間距離の変化量である。したがって、第 2 項の括弧内を

$$\alpha_1 l_{10} - \alpha_2 l_{20} = 0 \quad (4)$$

とすることにより、ミラー間距離 l は温度変化に無関係に常に一定となる。（4）式は第 1 図にお

$$l_{10} = 1.20754717 \text{ cm}$$

$$l_{20} = 0.20754717 \text{ cm}$$

ここで μm オーダまでの精度で加工する場合は、

$$l_{10}, l_{20} \text{ を}$$

$$l_{10} = 1.2075 \text{ cm}$$

$$l_{20} = 0.2075 \text{ cm}$$

とする。このようにして作製したファブリ・ペロー干渉計の温度によるミラー間距離の変化量 Δl は、（3）式より $\Delta l = (\alpha_1 l_{10} - \alpha_2 l_{20}) \Delta T$ を用いて計算される。 ΔT の値により、ミラー間距離の温度変化量 Δl は異なるので、 ΔT を変えて Δl を求めるとつぎに示すような値となった。

具体例 1 の結果

$\Delta T (^\circ\text{C})$	$\Delta l (\text{cm})$
+ 0.1	+ 1.25×10^{-11}
- 0.1	- 1.25×10^{-11}
+ 1.0	+ 1.25×10^{-10}
- 1.0	- 1.25×10^{-10}

$$\begin{array}{ll} +3.0 & +3.75 \times 10^{-10} \\ -3.0 & -3.75 \times 10^{-10} \\ +10.0 & +1.25 \times 10^{-9} \\ -10.0 & -1.25 \times 10^{-9} \end{array}$$

具体例2

第2図に第2の具体例を示す。内面に半径 r のミラー3および4に平行な接統面5で接統されており、その材質は石英ガラス(線膨張係数 $\alpha_1 = 5.5 \times 10^{-7}/^\circ\text{C}$)およびバイレックス・ガラス(同 $\alpha_2 = 3.2 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$)から成っている。

ミラー保持部材1および2を接統して、2枚のミラー間距離を決定するように構成している。ファブリ・ペロー干渉計のミラー間の媒質に気体を用いた場合、たとえば工業標準状態(20℃、1気圧)で空気を用いた場合、空気の屈折率 n は次式により与えられる。

$$(n-1) \times 10^6$$

作成したファブリ・ペロー干渉計を、空気圧制御機構を設けた容器内(図示せず)に収容して空気圧を一定にして使用する。

(5)式において屈折率の温度係数 Δn は

$$\Delta n = -0.931 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$$

であり、ミラー間距離 $l = l_1 + l_2$ は温度上昇(下降)と共に増加(減少)させる必要があることがわかる。

したがって線膨張係数の異なる2つのミラー保持部材1および2を組合わせて、屈折率 n の温度変動による光学的距離の変動を打ち消すように作用させる。屈折率 n は、

$$n = n_0 + \Delta n$$

ここで n_0 は $\Delta T = 0$ における工業標準状態での屈折率で、20℃、1気圧、 $f = 10 \text{ mmHg}$ 、 $k = 3$ である((5)式参照)。

$$l = l_1 + l_2$$

$$= l_{10}(1 + \alpha_1 \Delta T) + l_{20}(1 + \alpha_2 \Delta T)$$

であり、したがって、光学的距離 nl は

$$\begin{aligned} &= 272.09 + 1.596(\sigma^2 - 3) \\ &- 0.931(\theta - 20) + 0.359(p - 760) \\ &- 0.050(f - 10) + 0.015(k - 3) \quad (5) \end{aligned}$$

ここで

σ : 1 μm 中の波数

θ : 気温(℃)

p : 気圧(mmHg)

f : 水蒸気圧(mmHg)

k : CO_2 ガスの含有率($\times 0.01\%$ 単位)

$$1 \text{ mmHg} = 133.3 \text{ Pa}$$

(参考文献:「光応用計測の基礎」167頁~168頁 光工業計測研究専門委員会編

発行所 社団法人 計測自動制御学会

発行年月日 昭和58年7月25日。)

この(5)式から空気圧にも比較的大きな影響を受けることがわかる。そこで、ファブリ・ペロー干渉計内部のキャビティの空気圧を一定に制御する機構(図示せず)をとりつけるか、キャビティが外部に連絡され、空気の出入が可能な状態に

$$\begin{aligned} nl &= (n_0 + \Delta n) \{ l_{10}(1 + \alpha_1 \Delta T) \\ &+ l_{20}(1 + \alpha_2 \Delta T) \} \\ &= n_0(l_{10} + l_{20}) \\ &+ n_0(\alpha_1 l_{10} + \alpha_2 l_{20}) \Delta T \\ &+ \Delta n \{ l_{10}(1 + \alpha_1 \Delta T) \\ &+ l_{20}(1 + \alpha_2 \Delta T) \} \quad (6) \end{aligned}$$

である。(6)式右辺第1項は温度変化に無関係な $\Delta T = 0$ における一定の光学的距離であり、第2、第3項の和が温度変化による($\Delta T \neq 0$ における)光学的距離の変化量(以後、 $\Delta(nl)$ と表わす)であるから、 $\Delta(nl) = 0$ となるような条件を求める。

$$\begin{aligned} \Delta(nl) &= n_0(\alpha_1 l_{10} + \alpha_2 l_{20}) \Delta T \\ &+ \Delta n \{ l_{10}(1 + \alpha_1 \Delta T) \\ &+ l_{20}(1 + \alpha_2 \Delta T) \} = 0 \end{aligned}$$

ここで、 $\Delta n = -0.931 \times 10^{-6} \Delta T$ ($= \beta \Delta T$ と以後表わす)。したがって、

$$\begin{aligned} l_{10}/l_{20} &= - \{ n_0 \alpha_2 + \beta(1 + \alpha_2 \Delta T) \} \\ &\times \{ n_0 \alpha_1 + \beta(1 + \alpha_1 \Delta T) \}^{-1} \quad (7) \end{aligned}$$

ここで、 $\beta = -0.931 \times 10^{-6}$

(7) 式より本具体例において、 ΔT に無関係に l_{10} 、 l_{20} が常に一定の関係を保持することは、できないことがわかる。そこで $\Delta T = \pm 0.1, \pm 1.0, \pm 3.0, \pm 10^\circ\text{C}$ における l_{10} 、 l_{20} の関係を求めるとつぎに示す値となる。

具体例2における(7)式の数値例

$\Delta T (^\circ\text{C})$	l_{10}/l_{20}	l_{10}/l_{20} (平均)
+0.1	5.959939857	
-0.1	5.959943024	5.95994144
+1.0	5.959925605	
-1.0	5.959957274	5.95994144
+3.0	5.95989395	

ファブリ・ペロー干渉計を作製する方法を述べる。

光学的距離 $n_0 l_0$ が

$n_0 l_0 = n_0 (l_{10} + l_{20}) = 1.0000 \text{ cm}$
となるように設計すると、

$n_0 = 1.000268246$ であるから、

$l_0 = l_{10} + l_{20} = 0.9997318259$ (9)

を得る。(8) 式および(9) 式より、

$l_{10} = 0.85609 \text{ cm}$

$l_{20} = 0.14364 \text{ cm}$

となる。すなわち、このように l_{10} 、 l_{20} を設計すればよいことになる。実際にファブリ・ペロー干渉計を作製する場合、ミラー保持部材1および2を μm オーダまで精密加工する場合には、

$l_{10} = 0.8561 \text{ cm}$

$l_{20} = 0.1436 \text{ cm}$

とする。この精度で加工したファブリ・ペロー干渉計の光学的距離の温度変化分は(6) 式より、 $\Delta(nl) = n_0 (\alpha_1 l_{10} + \alpha_2 l_{20}) \Delta T$

- 3.0 5.959988947 5.95994144

+ 10.0 5.959783087

- 10.0 5.960099797 5.95994144

平 均 5.95994144 5.95994144

ただし、

$\lambda = 1.3 \mu\text{m}$ ($\sigma = 1/1.3$)

$n_0 = 1.000268246$

$\alpha_1 = 5.5 \times 10^{-7}/^\circ\text{C}$ (石英ガラスの線膨張係数)

$\alpha_2 = 3.2 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ (バイレックス・ガラスの線膨張係数)

$\beta = -0.931 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$

具体例1の場合と同様に l_{10}/l_{20} の平均値を用いると、

$l_{10}/l_{20} = 5.95994144$ (8)

すなわち(8) 式を満たすように作製することにより温度変化をともなう光学的距離の変化の極めてすくないファブリ・ペロー干渉計を作製することができる。このような原理にもとづいて、ファ

$$-0.931 \times 10^{-6} \{ l_{10} (1 + \alpha_1 \Delta T) + l_{20} (1 + \alpha_2 \Delta T) \} \Delta T$$

で与えられているから、 ΔT を $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 、 $\pm 1.0^\circ\text{C}$ 、 $\pm 3.0^\circ\text{C}$ 、 $\pm 10.0^\circ\text{C}$ とした場合の光学的距離の変化分 $\Delta(nl)$ は、つぎに示す表中においてAとして表わし、同様に、 l_{10} および l_{20} を $10 \mu\text{m}$ オーダまで加工して、

$l_{10} = 0.856 \text{ cm}$

$l_{20} = 0.144 \text{ cm}$

とした場合の $\Delta(nl)$ をBとして表わし、比較のために、ミラー保持部材1および2の材質として石英ガラス(線膨張係数 $5.5 \times 10^{-7}/^\circ\text{C}$) を $1 \mu\text{m}$ オーダまで加工した場合の $\Delta(nl)$ をCとし、同じく、バイレックス・ガラス(線膨張係数 $3.2 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$) を $1 \mu\text{m}$ オーダまで加工した場合の $\Delta(nl)$ をDとして表わした。

具体例2の $\Delta(nl)$ の値 (cm)

ΔT	$+0.1^{\circ}\text{C}$	-0.1°C
A	-9.62×10^{-12}	$+9.62 \times 10^{-12}$
B	$+8.50 \times 10^{-11}$	-8.50×10^{-11}
C	-3.81×10^{-8}	$+3.81 \times 10^{-8}$
D	$+2.27 \times 10^{-7}$	-2.27×10^{-7}

ΔT	$+1.0^{\circ}\text{C}$	-1.0°C
A	-9.70×10^{-11}	$+9.53 \times 10^{-11}$
B	$+8.49 \times 10^{-10}$	-8.51×10^{-10}
C	-3.81×10^{-7}	$+3.81 \times 10^{-7}$
D	$+2.27 \times 10^{-6}$	-2.27×10^{-6}

ΔT	$+3.0^{\circ}\text{C}$	-3.0°C
A	-2.96×10^{-10}	$+2.81 \times 10^{-10}$
B	$+2.54 \times 10^{-9}$	-2.56×10^{-9}
C	-1.14×10^{-6}	$+1.14 \times 10^{-6}$
D	$+6.81 \times 10^{-6}$	-6.81×10^{-6}

ΔT	$+10.0^{\circ}\text{C}$	-10.0°C
A	-1.05×10^{-9}	$+8.75 \times 10^{-10}$

B	$+8.41 \times 10^{-9}$	-8.59×10^{-9}
C	-3.81×10^{-6}	$+3.81 \times 10^{-6}$
D	$+2.27 \times 10^{-5}$	-2.27×10^{-5}

この表において、ミラー間距離を決定する部材として単一材料のみを使用したCおよびDの場合は、ミラー間距離 ℓ_0 を1 μm オーダまで精密加工した場合でも、光学的距離の変化分 $\Delta(n\ell)$ は、AおよびBによって示した本具体例2の場合に比べて3~5桁大きい値となっている。すなわち、本具体例2におけるファブリ・ペロー干渉計は、温度変化に対して極めて安定であることがわかる。

具体例3

具体例1において用いたファブリ・ペロー干渉計のキャビティを真空状態にする代わりに、20℃で1気圧(760mmHg)の空気を密封する。本具体例の場合、ファブリ・ペロー干渉計の温度が ΔT 変化するとキャビティの容積が増加し、

空気圧も変る。(5)式より屈折率の変化 Δn は、
 $\Delta n = -0.931 \times 10^{-6} \Delta T + 0.359 \times 10^{-6} \Delta p$

(10)

ここで Δp は温度変化と容積変化により変化した内部空気圧の変動量である。

Δp は気体の状態方程式により、つぎのように求められる。

$$p_0 = nRT_0 \times (\pi r_{10}^2 \ell_{10} - \pi r_{20}^2 \ell_{20})^{-1} \quad (11)$$

$$p_0 + \Delta p = nR(T_0 + \Delta T) \times \{ \pi r_{10}^2 \ell_{10} (1 + 3\alpha_1 \Delta T) - \pi r_{20}^2 \ell_{20} (1 + 3\alpha_2 \Delta T) \}^{-1} \quad (12)$$

ここで、

p_0 : $\Delta T = 0$ のときの内部空気圧(mmHg)

nR : 定数

r_{10} : ミラー保持部材1の $\Delta T = 0$ での内部の半径

r_{20} : ミラー保持部材2の $\Delta T = 0$ における内部の半径(第1図参照)

(11)式および(12)式より

$$\begin{aligned} \Delta p = & \{ r_{10}^2 \ell_{10} (1 - 3\alpha_1 T_0) \\ & - r_{20}^2 \ell_{20} (1 - 3\alpha_2 T_0) \} \\ & \times \{ r_{10}^2 \ell_{10} (1 + 3\alpha_1 \Delta T) \\ & - r_{20}^2 \ell_{20} (1 + 3\alpha_2 \Delta T) \}^{-1} \\ & \times p_0 \Delta T / T_0 \end{aligned} \quad (13)$$

で表わされるから(10)式の Δn は

$$\begin{aligned} \Delta n = & -0.931 \times 10^{-6} \Delta T + 0.359 \times 10^{-6} \\ & \times [\{ r_{10}^2 \ell_{10} (1 - 3\alpha_1 T_0) \\ & - r_{20}^2 \ell_{20} (1 - 3\alpha_2 T_0) \} \\ & \times \{ r_{10}^2 \ell_{10} (1 + 3\alpha_1 \Delta T) \\ & - r_{20}^2 \ell_{20} (1 + 3\alpha_2 \Delta T) \}^{-1} \\ & \times p_0 \Delta T / T_0] \end{aligned} \quad (14)$$

他方、光学的距離 $n\ell$ は

$$\begin{aligned}
n\ell &= n(\ell_1 - \ell_2) \\
&= (n_0 + \Delta n) \{ \ell_{10} (1 + \alpha_1 \Delta T) \\
&\quad - \ell_{20} (1 + \alpha_2 \Delta T) \} \\
&= n_0 (\ell_{10} - \ell_{20}) \\
&\quad + \ell_{10} (n_0 \alpha_1 \Delta T \\
&\quad + \Delta n (1 + \alpha_1 \Delta T)) \\
&\quad - \ell_{20} (n_0 \alpha_2 \Delta T \\
&\quad + \Delta n (1 + \alpha_2 \Delta T))
\end{aligned}
\tag{15}$$

(15)式右辺第1項は、 $\Delta T = 0$ にける光学的距離であり一定であるから、残りの部分が温度変化による光学的距離の変化分 $\Delta(n\ell)$ である。

$$\begin{aligned}
\Delta(n\ell) &= \ell_{10} (n_0 \alpha_1 \Delta T \\
&\quad + \Delta n (1 + \alpha_1 \Delta T)) \\
&\quad - \ell_{20} (n_0 \alpha_2 \Delta T \\
&\quad + \Delta n (1 + \alpha_2 \Delta T))
\end{aligned}
\tag{16}$$

ここで、

$$\Delta(n\ell) = 0 \tag{17}$$

その平均値は、

$$\ell_{10}/\ell_{20} = 5.81684473 \tag{18}$$

となる。ただし工業標準状態の空気をファブリ・ペロー干渉計内に封入した場合において、

$$n_0 = 1.000268246$$

$$\alpha_1 = 5.5 \times 10^{-7}/^\circ\text{C} \text{ (ミラー保持部材1に石英ガラス使用の場合)}$$

$$\alpha_2 = 3.2 \times 10^{-6}/^\circ\text{C} \text{ (ミラー保持部材2にバイレックス・ガラス使用の場合)}$$

$$r_{10} = 2.5 \text{ cm}$$

$$r_{20} = 2.4 \text{ cm}$$

$$T_0 = 293^\circ \text{ K} (20^\circ\text{C})$$

$$p_0 = 760 \text{ mm Hg} \text{ (1気圧)}$$

を用いて計算した。

このような関係を保って作製することにより、極めて温度変化の影響のすくないファブリ・ペロー干渉計を実現することができる。このような原理にもとづいてファブリ・ペロー干渉計を作製する方法を述べる。

となるような ℓ_{10} 、 ℓ_{20} の関係を求めると、具体例2における(7)式の数値例と同様にして、 ℓ_{10}/ℓ_{20} の関係を(14)、(16)、(17)式より求めると、つぎに示す値となる。

具体例3における ℓ_{10}/ℓ_{20} の数値例

$\Delta T (^\circ\text{C})$	ℓ_{10}/ℓ_{20}	ℓ_{10}/ℓ_{20} (平均)
+0.1	5.816844850	
-0.1	5.816844606	5.81684473
+1.0	5.816845979	
-1.0	5.816843476	5.81684473
+3.0	5.816848482	
-3.0	5.816840979	5.81684473
平均	5.81684473	5.81684473

光路長は、

$$n_0 \ell_0 = 1.00000 \text{ cm} \tag{19}$$

とする。(18)式および(19)式より、0.1 μm まで求めると、

$$\ell_{10} = 1.20728 \text{ cm}$$

$$\ell_{20} = 0.20754 \text{ cm}$$

となる。

したがって、この精度で加工した場合の(14)式および(16)式を用いた光学的距離の変化分 $\Delta(n\ell)$ を求めて、つぎの表においてAとして表わし、同じく、1 μm オーダーまで加工して、

$$\ell_{10} = 1.2072 \text{ cm}$$

$$\ell_{20} = 0.2075 \text{ cm}$$

とした場合の $\Delta(n\ell)$ をBとして表わし、同じく、10 μm オーダーまで加工して、

$$\ell_{10} = 1.207 \text{ cm}$$

$$\ell_{20} = 0.208 \text{ cm}$$

とした場合の $\Delta(n\ell)$ をCとして表わした。

具体例3の $\Delta(n\ell)$ の値 (cm)

ΔT	+ 0.1°C	- 0.1°C
A	- 3.38×10^{-13}	+ 3.35×10^{-13}
B	+ 1.13×10^{-11}	- 1.13×10^{-11}
C	- 1.35×10^{-10}	+ 1.35×10^{-10}
ΔT	+ 1.0°C	- 1.0°C
A	- 3.51×10^{-12}	+ 3.23×10^{-12}
B	+ 1.12×10^{-10}	- 1.13×10^{-10}
C	- 1.35×10^{-9}	+ 1.35×10^{-9}
ΔT	+ 3.0°C	- 3.0°C
A	- 1.14×10^{-11}	+ 8.82×10^{-12}
B	+ 3.36×10^{-10}	- 3.39×10^{-10}
C	- 4.06×10^{-9}	+ 4.06×10^{-9}
ΔT	+ 10.0°C	- 10.0°C
A	- 3.84×10^{-10}	+ 1.94×10^{-11}
B	+ 1.11×10^{-9}	- 1.14×10^{-9}
C	- 1.35×10^{-8}	+ 1.35×10^{-8}

能である。

本具体例において、スペーサ6および7は、互いに異符号の線膨張係数を有する材料を用いており、たとえばスペーサ6には、負の線膨張係数を有する材料、たとえば西ドイツのショット社製のガラス・セラミック（商品名ゼロデュア ZERODUR）や東北特殊鋼（株）製スーパーインバー（X-E L 53）を用いる。スペーサ7には正の線膨張係数を有する材料、たとえばゼロデュア、スーパーインバー（K-E L 50）、石英ガラスをはじめ各種ガラス、セラミクス、金属等を用いることができる。

本具体例は、具体例3において説明したファブリ・ペロー干渉計において、 $r_1 = r_2$ とし、 ℓ_2 を $-\ell_2$ に置き換えることにより同様の計算式を得る。

$$\Delta p = \{ \ell_{10} (1 - 3\alpha_1 T_0) + \ell_{20} (1 - 3\alpha_2 T_0) \}$$

具体例4

第3図は第4の具体例を示す断面図である。

1および2は、たとえば光学用透明石英ガラスやクラウンガラス（BK-7 ショット社製西ドイツ SCHOTT GLASWERKE Mainz）などから成る透明円板状ミラー保持部材、3、4はミラー保持部材1および2に設けたミラーで、ともに光を一部透過する性質を有し、互いに平行に位置している。6および7は互いに線膨張係数が異符号の材質からなる、2枚のミラー間距離を決定する円筒状のスペーサであり、接続面5で接続されている。接続面5は2枚のミラーとともに平行であり、ミラー3から接続面5までの距離を ℓ_1 、ミラー4から接続面5までの距離を ℓ_2 とする。

ミラー保持部材1および2、スペーサ6および7で囲まれた内部には、工業標準状態の空気を入れてから密封し、空気が出入りできない状態に設けてある。密封は接着剤を用いることも可能であるが、オプティカルコンタクト法によることも可

$$\begin{aligned} & \times \{ \ell_{10} (1 + 3\alpha_1 \Delta T) \\ & + \ell_{20} (1 + 3\alpha_2 \Delta T) \}^{-1} \\ & \times p_0 \Delta T / T_0 \end{aligned} \quad (13')$$

$$\begin{aligned} \Delta n = & -0.931 \times 10^{-6} \Delta T + 0.359 \times 10^{-6} \\ & \times [\{ \ell_{10} (1 - 3\alpha_1 T_0) \\ & + \ell_{20} (1 - 3\alpha_2 T_0) \} \\ & \times \{ \ell_{10} (1 + 3\alpha_1 \Delta T) \\ & + \ell_{20} (1 + 3\alpha_2 \Delta T) \}^{-1} \\ & \times p_0 \Delta T / T_0] \end{aligned} \quad (14')$$

$$\begin{aligned} \Delta(n\ell) = & \ell_{10} \{ n_0 \alpha_1 \Delta T \\ & + \Delta n (1 + \alpha_1 \Delta T) \} \\ & + \ell_{20} \{ n_0 \alpha_2 \Delta T \\ & + \Delta n (1 + \alpha_2 \Delta T) \} \end{aligned} \quad (16')$$

と書き替えることができる。

つぎに、 $\Delta(n\ell) = 0$ 、となるように条件式を求めると、(13')、(14')、(16')式より、

$$\begin{aligned}
& [n_0 T_0 \alpha_1 (1 + 3 \alpha_1 \Delta T) \\
& + (1 + \alpha_1 \Delta T) \\
& \times \{ \beta T_0 (1 + 3 \alpha_1 \Delta T) \\
& + \gamma P_0 (1 - 3 \alpha_1 T_0) \}] \\
& \times (\ell_{10} / \ell_{20})^2 \\
& + [n_0 T_0 \{ \alpha_2 (1 + 3 \alpha_1 \Delta T) \\
& + \alpha_1 (1 + 3 \alpha_2 \Delta T) \} \\
& + (1 + \alpha_1 \Delta T) \\
& \times \{ \beta T_0 (1 + 3 \alpha_1 \Delta T) \\
& + \gamma P_0 (1 - 3 \alpha_1 T_0) \} \\
& + (1 + \alpha_2 \Delta T) \\
& \times \{ \beta T_0 (1 + 3 \alpha_2 \Delta T) \\
& + \gamma P_0 (1 - 3 \alpha_2 T_0) \}] \\
& \times (\ell_{10} / \ell_{20}) \\
& + [n_0 T_0 \alpha_2 (1 + 3 \alpha_2 \Delta T) \\
& + (1 + \alpha_2 \Delta T) \\
& \times \{ \beta T_0 (1 + 3 \alpha_2 \Delta T) \\
& + \gamma P_0 (1 - 3 \alpha_2 T_0) \}] = 0 \quad (20)
\end{aligned}$$

但し、 $\beta = -0.931 \times 10^{-6}$
 $\gamma = 0.359 \times 10^{-6}$

$$\begin{aligned}
\alpha_1 &= -1.0 \times 10^{-8} / ^\circ\text{C} & \alpha_1 &= -1.37 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C} \\
\alpha_2 &= 2.0 \times 10^{-8} / ^\circ\text{C} & \alpha_2 &= 0.84 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}
\end{aligned}$$

$\Delta T (^\circ\text{C})$	ℓ_{10} / ℓ_{20}	ℓ_{10} / ℓ_{20}
0	2.059553010	0.6154338535
+0.1	2.059553027	0.6154338541
-0.1	2.059552993	0.6154338528
+1.0	2.059553180	0.6154338599
-1.0	2.059552840	0.6154338470
+10	2.059554708	0.6154339177
-10	2.059551313	0.6154337892
平均	2.059553010	0.6154338535

ただし $\lambda = 0.85211 \mu\text{m}$ (空気中)

$$n_0 = 1.000269500 \quad (\lambda = 0.85211 \mu\text{mのとき})$$

$$T_0 = 293^\circ \text{K} (20^\circ \text{C})$$

$$P_0 = 760 \text{ mmHg}$$

(20)式より、 ℓ_{10} / ℓ_{20} の値は ΔT の関数となるから、 ΔT にかかわらず常に一定にすることはできないことがわかる。そこでスパーサ6および7に、それぞれ負および正の線膨張係数 α_1 および α_2 のゼロデュアを用いた場合と、スーパーインバーを用いた場合について、

$\Delta T = \pm 0.1, \pm 1.0, \pm 10^\circ\text{C}$ における ℓ_{10} / ℓ_{20} の値を求めると、次表に示す値となる。 ΔT の値を変えても ℓ_{10} / ℓ_{20} の値は大きく変わることはなく、すなわち光学的距離の変化の極めて少ないファブリ・ペロー干渉計の作製が可能であることがわかる。

具体例4における ℓ_{10} / ℓ_{20} の値

ゼロデュア スーパーインバー

$$n_0 = 1.000269500$$

$$T_0 = 293^\circ \text{K} (20^\circ\text{C})$$

$$P_0 = 760 \text{ mmHg} (1 \text{ 気圧})$$

を用いて計算した。

つぎに、ミラー間距離、 $\ell_{10} + \ell_{20} = 2.000 \text{ cm}$ のファブリペロー干渉計を作製する。先に求めた ℓ_{10} / ℓ_{20} と $\ell_{10} + \ell_{20} = 2.000$ より、 ℓ_{10} 、 ℓ_{20} の設計値は次表の値となる。実際には加工誤差を生じるから、 $10 \mu\text{m}$ オーダーまで精密加工して、 ℓ_{10} 、 ℓ_{20} の長さは表における「作製した長さ、 ℓ_{10} 、 ℓ_{20} 」になった場合(16)式より温度変化による光学的距離の温度変化量 $\Delta(n\ell)$ は次表のようになる。すなわち温度変化に対して極めて安定なファブリ・ペロー干渉計を得ることができる。スパーサ6および7に、それぞれ負および正の線膨張係数 α_1 および α_2 のゼロデュアを用いた場合とスーパーインバーを用いた場合を示している。

具体例4における ℓ_{10} 、 ℓ_{20} の値

ゼロデュア	スーパーインバー
線膨張係数(／℃)	線膨張係数(／℃)
$\alpha_1 = -1.0 \times 10^{-8}$	$\alpha_1 = -1.37 \times 10^{-7}$
$\alpha_2 = 2.0 \times 10^{-8}$	$\alpha_2 = 0.84 \times 10^{-7}$

設計値(cm)	設計値(cm)
$\ell_{10} = 1.3463097$	$\ell_{10} = 0.7619425$
$\ell_{20} = 0.6536903$	$\ell_{20} = 1.2380575$
ℓ_{10}/ℓ_{20}	ℓ_{10}/ℓ_{20}
2.059955	0.61543385

作製した長さ(cm)	作製した長さ(cm)
$\ell_{10} = 1.346$	$\ell_{10} = 0.762$
$\ell_{20} = 0.654$	$\ell_{20} = 1.238$

ΔT (℃)	$\Delta(n\ell)$ (cm)	$\Delta(n\ell)$ (cm)
+0.1	9.3×10^{-13}	-1.3×10^{-12}

にして作製する。

つぎに数式を用いて説明する。

ミラー3、4間の光学的距離 $n\ell$ は、内部が真空(屈折率 $n = 1.000$)であるから、

$$\begin{aligned} n\ell &= \ell_1 + \ell_2 \\ &= \ell_{10}(1 + \alpha_1 \Delta T) + \ell_{20}(1 + \alpha_2 \Delta T) \\ &= (\ell_{10} + \ell_{20}) + (\alpha_1 \ell_{10} + \alpha_2 \ell_{20}) \Delta T \end{aligned} \quad (21)$$

(21)式において具体例1と同様に、第1項は基準状態での光学的距離であり、第2項が温度変化 ΔT によるミラー間距離の変化量である。したがって、第2項において、

$$\alpha_1 \ell_{10} + \alpha_2 \ell_{20} = 0$$

すなわち、

$$\ell_{10}/\ell_{20} = -\alpha_2/\alpha_1 = \text{一定} \quad (22)$$

とすることにより温度変化に影響されなくなる。
本具体例においては(22)式を満たすように材質を選び、長さ ℓ_{10} 、 ℓ_{20} を決めることにより、温度変化に影響のないファブリ・ペロー干渉計を

-0.1	-9.3×10^{-13}	1.3×10^{-12}
+1.0	9.3×10^{-12}	-1.3×10^{-11}
-1.0	-9.3×10^{-12}	1.3×10^{-11}
+10	9.3×10^{-11}	-1.3×10^{-10}
-10	-9.3×10^{-11}	$+1.3 \times 10^{-10}$

具体例5

第4図に本具体例の断面図を示す。

2枚のミラー間距離を決定する材料として、互いに異符号の線膨張係数を有する材料(具体例4参照)を用い、内部を真空にする。

8は空気抜き穴、9は空気抜き穴に接続したガラス製のパイプで、図示してはいない真空ポンプに接続され、内部を真空状態に保ちながらガラス製のパイプ9を加熱する。加熱によりガラス製のパイプ9の内部が融着するのでその部分で折断して作製する(第4図)。その他は具体例4と同様

実現することができる。

スペーサ6に、線膨張係数

$$\alpha_1 = -1.2 \times 10^{-8}/\text{℃のゼロデュアを、}$$

スペーサ7に、線膨張係数

$$\alpha_2 = -1.7 \times 10^{-8}/\text{℃のゼロデュアを使用する。}$$

ミラー間距離 $\ell = \ell_{10} + \ell_{20} = 2 \text{ cm}$ とすると、

(22)式より、

$$\ell_{10} = 1.172414 \text{ cm}$$

$$\ell_{20} = 0.827586 \text{ cm}$$

すなわち(23)式のようにスペーサを作製することにより、温度変化の生じないファブリペロー干渉計を作製できる。

しかし実際には、加工誤差が生じるので誤差を求めてみる。

100 μm オーダーおよび10 μm オーダーの精度で加工すると、

$$\ell_{10} = 1.17 \text{ cm} \quad \ell_{20} = 0.83 \text{ cm}$$

および

$$l_{10} = 1.172 \text{ cm} \quad l_{20} = 0.828 \text{ cm}$$

となる。このときの温度変化によるミラー間距離の変化量 Δl は(21)式より

$$\Delta l = (\alpha_1 l_{10} + \alpha_2 l_{20}) \Delta T \quad (24)$$

(24)式を計算すると、次表に示すようになる。

具体例5における(24)式の数値例

加工精度	100 μm	10 μm
ΔT (°C)	Δl (cm)	Δl (cm)
+0.1	7×10^{-12}	1.2×10^{-12}
-0.1	-7×10^{-12}	-1.2×10^{-12}
+1.0	7×10^{-11}	1.2×10^{-11}
-1.0	-7×10^{-11}	-1.2×10^{-11}
+3.0	2.1×10^{-10}	3.6×10^{-11}

$$\begin{aligned} \Delta(nl) &= 2 \times 2.7 \times 10^{-6} \\ &= 5.4 \times 10^{-6} \text{ cm/°C} \end{aligned}$$

変化することになる。また温度変化による屈折率の変化も(5)式より

$$\Delta n = 9.31 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

となり全体として $10^{-5} \sim 10^{-6} \text{ cm/°C}$ で変化する。

以上の具体例から明らかなように、本発明のファブリ・ペロー干渉計は、ミラー間の光学的距離を温度変化に対して高度に安定化させるようにしたものであり、具体例2の $\Delta(nl)$ の値の表中のC、Dおよび比較例で示した従来のファブリ・ペロー干渉計に比べて、その光学的距離の変化は3～5桁以上安定した性能を有している。

たとえば、波長 $\lambda = 1.0 \mu\text{m}$ の光を用い、光学的距離 $(n_0 l_0)$ が1cmのファブリ・ペロー干渉計を作製した場合、温度変化10°C以内において $\Delta(nl)$ を $\pm 10^{-8} \sim \pm 10^{-11} \text{ cm}$ にすることは十分可能であり、この光学的距離の変化 $(\pm 10^{-8} \sim \pm 10^{-11} \text{ cm})$ に対する波長変化 $\Delta\lambda$ は、

$$-3.0 \quad -2.1 \times 10^{-10} \quad -3.6 \times 10^{-11}$$

$$+10.0 \quad 7 \times 10^{-10} \quad 1.2 \times 10^{-10}$$

$$-10.0 \quad -7 \times 10^{-10} \quad -1.2 \times 10^{-10}$$

すなわち温度変化によるミラー間の光学的距離の変化のきわめて小さいファブリ・ペロー干渉計を作製することができる。

従来例との比較

第5図(a)および(b)に示したエアー・ギャップ型エタロンにおいて、線膨張係数の小さいスペース材料として、前記ゼロデュア $\alpha = -1.2 \times 10^{-8} / ^\circ\text{C}$ を用いた場合においても、ミラー間距離 $(l_0 = 2.000 \text{ cm})$ の温度変化量 $\alpha l_0 \Delta T$ は $\Delta T = 1 ^\circ\text{C}$ のとき $-2.4 \times 10^{-8} \text{ cm}$ と比較的小さいものの空気の屈折率の変化が温度変化と気圧の変化により大きく((5)式参照)、たとえば大気圧が7.5mmHg(10mbar)変化すると、屈折率は 2.7×10^{-6} だけ変化し、ミラー間距離の変化がない場合でも、

$$m \lambda_0 = 2 n_0 l_0$$

$$\lambda_0 = 1.0 \mu\text{m}$$

$$n_0 l_0 = 1 \text{ cm}$$

より、

$$m = 20000$$

したがって、

$$\Delta \lambda = 2 \Delta(n_0 l_0) / m$$

$$= 10^{-4} \times \Delta(n_0 l_0)$$

より、

$$\Delta \lambda = \pm 10^{-8} \sim \pm 10^{-11} \mu\text{m}$$

程度に安定化させることが可能である。

本発明は以上の具体例に限定することなく、材料、形状、寸法等においても任意に選択することができる。また前記具体例において、 l_{10} 、 l_{20} をより精密に加工するか、 $\Delta T = \pm 1 ^\circ\text{C}$ 程度以内に制御された容器内や恒温槽内で使用すると、さらに $\Delta(nl)$ 、 $\Delta\lambda$ を安定化させることができるので効果的である。

前記具体例において、2枚のミラー間距離を決

定する部材として線膨張係数の異なる 2 種類の部材を組合せて使用したが、3 種類以上の部材を組合せて使用できることは、先にも述べたとうりである。また 2 種類の部材の線膨張係数は、互いに同符号のものでも異符号のものでも使用できるので、広範囲の材料の中から選択することができる。なお、上記 2 枚のミラー間距離を決定する部材は、その 2 枚のミラーを保持する部材と材質が異なっているてもよいことはいうまでもない。

本具体例においては基準状態として、工業基準状態を用いたが、これに限定する必要はない。またミラー間の媒質としての気体に空気をを用いて (5) 式より屈折率を計算したが、一般には有機、無機の気体または蒸気の (絶対) 屈折率 $n(t, p)$ は、

$$\begin{aligned} n(t, p) - 1 &= \{ n(0^\circ\text{C}, 760\text{mmHg}) - 1 \} \\ &\quad \times (1 + \alpha t)^{-1} \times P / 760 \\ &= \{ n(0^\circ\text{C}, 760\text{mmHg}) - 1 \} \\ &\quad \times \{ P(0^\circ\text{C}, 760\text{mmHg}) \}^{-1} \end{aligned}$$

である。

[発明の効果]

本発明によるファブリ・ペロー干渉計は 2 枚のミラー間の光学的距離が、周囲の温度変化に対して極めて安定であり、温度変化によるファブリ・ペロー干渉計の透過スペクトルの変化も極めて小さく、たとえば、レーザの周波数安定化のための周波数弁別器として用いた場合には、レーザの周波数を高度に安定化させることができる。

さらに、2 枚のミラー間の媒質と 2 枚のミラー間の距離を決定する部材とが別個の材料であるため、媒質の屈折率とミラー間距離を別個に設定することができるので、材料の選定が容易であるという効果がある。媒質の屈折率の温度係数の符号と、ミラー間距離を決定する部材の材質の線膨張係数の符号が、必ずしも互いに逆符号となる材質を選ぶ必要がないから、材料の選択幅が広く、安価な材料を選択することができ、しかも加工精度を低下せしめても、従来のものに劣らない性能のファブリ・ペロー干渉計を得ることができるもの

$$\times \rho(t, p)$$

ただし t … 気温 ($^\circ\text{C}$)

α … 気体の膨張率

ρ … 気体の密度

で表わされるから、この式を用いて計算することができる。

ここで各種の気体の絶対屈折率 $n(t, p)$ および膨張率は、化学便覧基礎編 II 著作者 日本化学会 (社団法人) 発行所 丸善株式会社 発行日 昭和 50 年 6 月 20 日。の 1256 頁および 688 頁に掲載されている。ここにおいて、He ガスや Ne ガスなどは、屈折率が小さく、さらに温度や圧力の変化による屈折率の変化が小さいので、空気をを用いる場合よりも 1 桁程度よい精度を得ることが可能である。

本発明のファブリ・ペロー干渉計は、従来のものに比べて温度変化による影響が極めて小さく、従来と同程度の性能を得るためには加工精度を低下することができるので、安価に製作することが

である。したがって、本発明の効果は極めて大きい。

4. 図面の簡単な説明

第 1 図は本発明の一実施例を示す断面図、

第 2 図、第 3 図および第 4 図は本発明の他の実施例を示す断面図、

第 5 図は従来のファブリ・ペロー干渉計の断面図である。

1, 2 … ミラー保持部材

3, 4 … ミラー

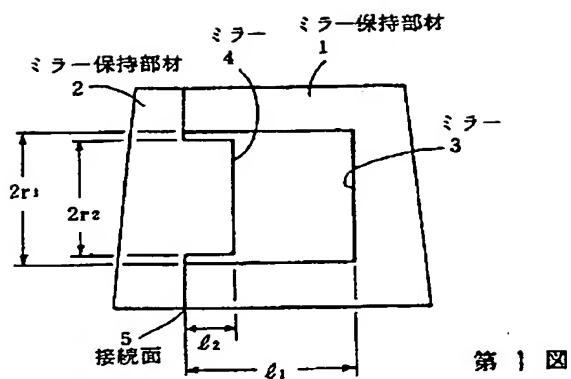
5 … 接続面

6, 7 … スペース

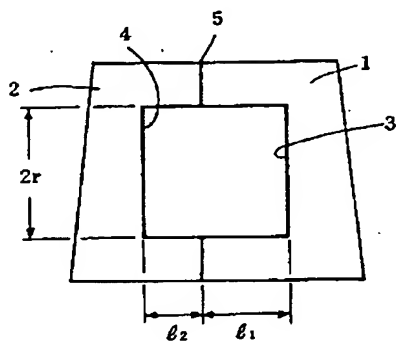
8 … 空気抜き穴

9 … パイプ。

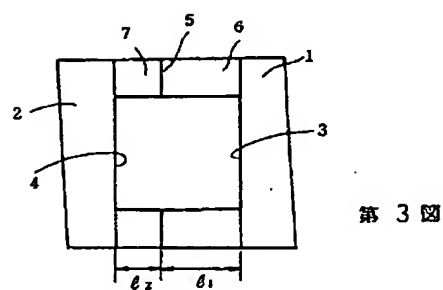
代理人 内 田 公 三



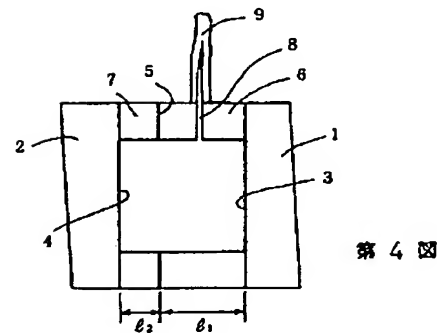
第 1 図



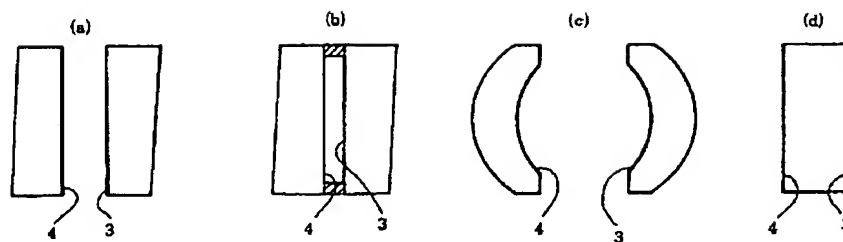
第 2 図



第 3 図



第 4 図



第 5 図